

**Климова В. А., Ташлыков О. Л.**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ ОТ**  
**ЗАГРЯЗНЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С**  
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПАКЕТА**  
**MATHCAD**

*artem1010@rambler.ru*

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»  
г. Екатеринбург*

*Описано применение математического пакета Mathcad для решения профессиональных задач в атомной энергетике. Подробно рассмотрено поэтапное решение поставленной задачи по расчету поля воздушной кермы, создаваемого системой радиационно-загрязненного оборудования в помещении.*

**Klimova V. A., Tashlykov O. L.**  
**SIMULATION OF RADIATION FIELDS FROM THE POLLUTED**  
**EQUIPMENT WITH MATH SOFTWARE PACKAGE MATHCAD**

*It is described the use of math software package Mathcad to solve professional problems in atomic power engineering. It is considered the solution of the problem of simulation of kerma fields from the radioactively polluted equipment.*

Кафедра «Атомная энергетика» готовит специалистов для ядерной отрасли – эксплуатационный и ремонтный персонал атомных станций. В своей профессиональной практике наши студенты столкнутся с решением различных задач, в число которых входит прогнозирование доз облучения, полученных в процессе техобслуживания и ремонта оборудования радиоактивных контуров.

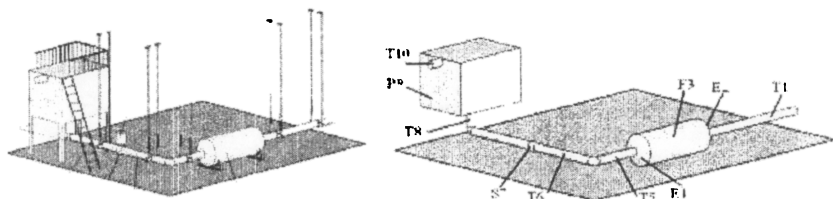
В курсе «Интегрированные прикладные системы» в ходе изучения математического пакета Mathcad студентам предлагается решить несколько задач, одна из которых касается моделирования полей воздушной кермы от радиационно-загрязненного оборудования. В ходе работы изучаются следующие инструменты Mathcad и приемы решения задач:

- способы импорта и экспорта данных из Mathcad в другие приложения;
- средства и методы вычисления определенного интеграла в Mathcad;
- работа с массивами данных – использование дискретной переменной, операции с матрицами, графическое представление массивов данных;
- управление расчетом;
- построение трехмерного графика и графика поверхностей уровня;
- разбиение задачи на этапы и оптимизация алгоритма решения.

Решение поставленной задачи производится в несколько этапов.

1. Анализ состава оборудования в помещении и исключение из расчета конструктивных элементов (опор, подвесок и т. д.), не влияющих на радиационную обстановку.
2. Разбивка радиоактивной системы на элементарные геометрические тела (цилиндрические с поверхностной и объемной активностью, плоские, сферические и т. д.) – источники излучения.
3. Задание координат элементарных геометрических тел.
4. Создание расчетной сетки.
5. Задание изотопного состава радиоактивных загрязнений тел и их активности (поверхностной, объемной, линейной).
6. Расчет радиационных полей, создаваемых отдельными элементарными телами.
7. Определение суммарного радиационного поля.
8. Определение изодозных линий на плане помещения.

Первые два этапа являются аналитическими и выполняются без помощи компьютера. Пример подобного анализа приведен на рис. 1.



*Рис. 1. Пример компоновки оборудования в помещении и разбивки на элементарные геометрические тела: 1 – бак; 2 – опоры бака; 3 – лестница; 4 – арматура; 5 – электропривод арматуры; 6 – трубопроводы; 7 – фильтр; 8 – подвески трубопроводов; 9 – ограждение*

Этапы 3–5 подразумевают ввод исходных данных в программу Mathcad. Здесь рассматриваются возможности интеграции пакета Mathcad с другими приложениями. Например, физические константы можно импортировать из внешних баз данных. В нашей работе значения постоянной распада, объемной активности и гамма-постоянной радиоактивных изотопов импортированы из приложения MS Excel (рис. 2).

$\begin{pmatrix} \lambda \\ A_V \\ \Gamma_\delta \end{pmatrix} =$	Постоянная	Объемная	Гамма-постоянная,
Изотоп	распада, 1/с	активность, Бк/м <sup>3</sup>	10 <sup>-18</sup> Гр·м <sup>2</sup> /(Бк·с)
<sup>50</sup> Fe	1,779E-07	4,00E+07	40.67

Рис. 2. Импорт данных

Расчет радиационных полей, создаваемых элементами оборудования, выполняется по формулам [1], интегрирующим активность по объему единицы оборудования. Вычисление суммарного поля воздушной кермы производится по принципу суперпозиции – радиоактивно-загрязненное тело рассматривается как совокупность точечных источников. Пример такой формулы для трубопровода Т1 приведен на рис. 3.

$$K_{aT1} = \sum_{s=1}^{\text{count}(\lambda)-1} \lambda_s \cdot e \int_0^{L_{T1}} \int_0^{R_{T1}} \int_0^{2\pi} \frac{r A_{\lambda_s} \Gamma_{\delta_s}}{\left[ \lambda_d - (\lambda_{d1} - x)^2 + [\lambda_d - (\lambda_{d1} + 1 \cdot \cos(\varphi))^2 + [z_d - (\lambda_{d1} + r \cdot \sin(\varphi))]^2 \right]} d\varphi \cdot dr \cdot dx$$

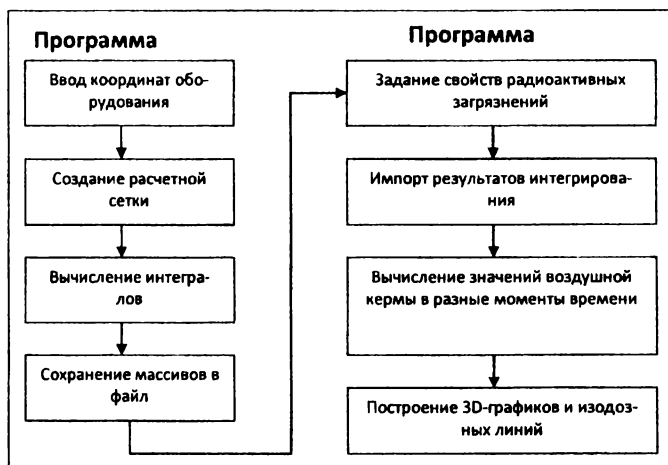
Рис. 3. Вычисление поля воздушной кермы от трубопровода Т1

Вычисление тройного интеграла – наиболее времязатратная операция в данной задаче. Вообще, при численном интегрировании в Mathcad время расчета может быть очень значительным, особенно в случае широкого интервала интегрирования, высокой точности или кратного интеграла. Поэтому по мере возможности следует предварительно символьно вычислять интеграл. К сожалению, это не всегда реализуемо. В связи с этим в данной задаче предлагается оптимизировать алгоритм решения.

Во-первых, формулы расчета полей воздушной кермы можно упростить, если вынести  $A_V$  и  $\Gamma_\delta$  за знак интеграла. Тогда под знаком суммы (см. рис. 3) окажется не интеграл, а матрица значений. Таким образом, мы в три раза сократим количество вычисляемых интегралов и соответственно время расчета.

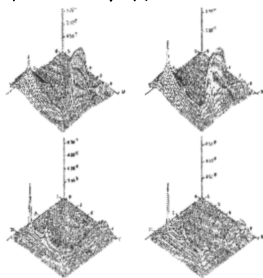
Во-вторых, результат вычисления интегралов для каждой единицы оборудования можно сохранить в отдельном файле. Затем эти данные можно импортировать в программу для построения суммарного поля воздушной кермы в разные моменты времени. Тогда решение задачи будет разбито на два этапа и не придется пересчитывать все интегралы при изменении изотопного состава радиоактивных загрязнений.

Новый порядок расчета схематично представлен на рис. 4.



*Рис. 4. Порядок расчета*

Результат выполнения работы представлен на рис. 5.



*Рис. 5. Изменение поля воздушной кермы во времени*

Моделирование полей излучения на основе изотопного состава радиоактивных отложений на поверхностях оборудования и трубопроводов АЭС является важной составляющей оптимизации радиационной защиты персонала. На примере решения таких задач студенты Уральского федерального университета, обучающиеся по специальности 140404 «Атомные электрические станции и установки», учатся эффективно использовать компьютерные технологии в своей профессиональной деятельности, а также применять знания, полученные в ходе изучения дисциплин специализации.

Гусев Н. П. Физические основы защиты от излучений. / Н. П. Гусев, В. А. Климанов, В. П. Машкович [и др.]; под ред. Н. Г. Гусева. 3-е изд. // Защита от ионизирующих излучений: в 2 т. Т. 1. Физические основы защиты от излучений. – М. : Энергоатомиздат, 1989.